



Bygningsintegreret solvarme på gavle. Lønstrupgård

Holck, Ole; Svendsen, Svend

Publication date:
2002

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Holck, O., & Svendsen, S. (2002). *Bygningsintegreret solvarme på gavle. Lønstrupgård*. Byg Rapport No. r-046
<http://www.byg.dtu.dk/publications/rapporter/r-046.pdf>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Ole Holck
Svend Svendsen

Lønstrupgård Bygningsintegreret solvarme i gavl.



Rapport
BYG·DTU R-046
2002

ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-106-4

BYG•DTU

Danmarks Tekniske Universitet

Brovej - Bygning 118

2800 Kgs. Lyngby

Tlf.: 45 25 17 00

Fax: 45 88 32 82

E-mail: byg@byg.dtu.dk

R-046 2002

ISSN 1601-2917

ISBN 87-7877- 106-4

FORORD

BYG•DTU har i samarbejde med

- H. S. Hansen A/S,
- Glasalu A/S,
- Rockwool International A/S,
- Batec A/S,
- SunArc Technology A/S,
- Fællesadministrationen 3B, afd. Lønstrupgård,
- Tegnestuen "Møllen" ApS

gennemført demonstrationsprojektet med titlen; Bygningsintegreret solvarme på gavle "Lønstrupgård", et pilotprojekt. Projektet er gennemført under energistyrelsens tilskudsordning for vedvarende energi (UVE). Energistyrelsens journal nr. 51181/00-0077. Denne rapport er udfærdiget som et resultat af BYG•DTU's samarbejde med de øvrige deltagere. Rapporten udgør afslutningen på projektet.

Deltagere i projektet er :

H. S. Hansen A/S:	Niels J Graversen
Glasalu A/S:	Erik Ohrt
Rockwool International A/S:	Claus Rudbeck
Batec A/S:	Ole Hansen
SunArc Technology A/S:	Göran Olsson
Fællesadministrationen 3B:	Merete Nielsen
Tegnestuen "Møllen" ApS:	Claes Høgly
BYG•DTU:	Ole Holck, Svend Svendsen

Projektet omhandler en udviklingsdel bestående af byggeteknisk indpasning, funktionsmæssig indpasning, samt produktudvikling og en demonstrationsdel bestående af elementproduktion, gavlirenovering, solfangerfelt og tilslutning til brugsvandsanlægget på Lønstrupgård.

SAMMENFATNING

Projektet har vist at gavlsolfangeren, med dens placering, kræver mere af dens visuelle fremtræden end for eksempel tagintegrerede solfangere. De nubrede glas er ikke tilstrækkelige til at hindre indsyn til absorberen. Der er derfor behov for at udvikle absorbere som tilfredsstiller iagttagers krav til udseendet af gavlsolfangeren. Rapporten behandler økonomiske konsekvenser som følge af et ønske om ikke at kunne se ind på absorberen. Ønsket er foranlediget af arkitektoniske hensyn. Der er i projektet gjort meget ud af komponentudvikling som har resulteret i et godt og fleksibelt system til opbygning af gavlsolfangere. En uheldig håndtering af komponenterne som gav fugtproblemer og renhedsproblemer skal undgås i fremtiden. Efter at gavlsolfangeren er færdig, er der generelt tilfredshed fra beboerne med hensyn til indeklimaet. Der er ingen kolde ydervægge mere, trækgener er mindsket og luftkvaliteten er blevet bedre.

Projektet demonstrerer en tilslutning til brugsvandsanlægget som er billig og som giver mindst mulig indgriben i den eksisterende varmecentral. I den forbindelse er der ved beregning foretaget undersøgelser af temperaturer og effektoverførelser ved stationære tilstande. Forbrug af varmt vand er registreret på forskellige tidspunkter, og beregnede ydelser for anlægget er sammenholdt med målte værdier. Tilslutning til brugsvandsanlægget har medført at nye CirCon-ventiler er installeret på stigstrengene, CirCon-ventilerne er sponsoreret af Frese A/S.

INDHOLD

Forord.....	1
Sammenfatning	3
Indhold	3
Indledning	5
1. Problemstilling	5
2. Det valgte boligkompleks	7
3. Tilslutning af solvarme.	8
4. Styringsstrategi for tilslutning af solvarme	12
5. Solfangerfeltet – opbygning og arkitektonisk indpasning	14
6. Indeklima	15
7. Absorber i glasfacade.....	16
8. Ugennemsigtigt dæklag.	18
9. Målte og estimerede ydelser fra gavlsolfangeren.	21
10. Konklusion.....	23
Referencer	23
Appendiks A : Solstråling og soltimer.	24
Appendiks B : Trasmittansens afhængighed af indfaldsvinkel.	24
Appendiks C : Regnearkside.....	25
Appendiks D: Spørgeskema indeklima.....	26
Appendiks E: Lodret snit i gavlsolfangeren.	29

INDLEDNING

På baggrund af viden fra tidligere projekter og med udgangspunkt i ideen om at kombinere eksisterende efterisoleringssystemer med en solfangerdel, er der forud for dette demonstrationsprojekt gennemført et forprojekt [Holck, Svendsen]. Principper og størsteparten af konceptet fra den solfanger som blev udviklet i forprojektet er overført til demonstrationsprojektet, men projektet har også taget nye ideer op. Disse ideer har de deltagende producenter anset for vigtige. At der er taget nye ideer op og konceptet derved ændres, betyder ikke en nedvurdering af det oprindelige koncept, men snarere hensyn taget til den umiddelbare kommercialisering af produktet for de implicerede producenter. Den væsentlige ændring er at forprojektets solfanger var bygget op omkring et isoleringselement som samtidig udgjorde elementets konstruktive stabilitet. I demonstrationsprojektet er dette overtaget af aluminiumsprofiler.

Erhvervsdeltagelsens interesse i projektet er begrundet i senere at kunne bruge erfaringer og resultater kommercielt. Kommercialisering er derfor et mål som der er taget hensyn til ved udformningen af gavlsolfangeren.

Kommercialisering af gavlsolfangeren fokuserer på det marked der ligger inden for betonbyggeri hvor sydvendte gavle/facader er et potentiale for udnyttelse af solenergi.

Foruden boligmassen vil erhvervsbyggeri også være et område hvor gavlsolfangere kan udnyttes. Ud over praktiske erfaringer vedrørende fremstilling, håndtering, montering og installation af solfangerelementer som projektet har givet, har projektet vist at inddragelse af solvarme er rentabelt uden statstilskud. Der er påvist besparelser i form af dobbeltfunktion og besparelser ved montering og installation.

Der har i udformningen af gavlen været stor opmærksomhed omkring den arkitektoniske tilpasning. Gavlen demonstrerer derfor et eksempel på bygningsintegreret solvarme hvor den arkitektoniske udformning er sat i højsæde. Den arkitektoniske tilpasning af forprojektet og demonstrationsprojektet har ikke været varetaget af samme arkitekt og har derfor ikke fået helt samme udformning. Dette skyldes til dels konstruktive ændringer og til dels arkitekternes forskellige syn på hvad der er pænt.

Demonstrationsgavlen kan yderligere være til gavn for beboergrupper og boligselskaber, således at de lettere vil kunne implementere solenergi i forbindelse med nybyggeri og renovering af fleretages betonbyggeri.

Projektet vil kunne skabe grundlag for at byggebranchen interesserer sig for solvarme, idet der fokuseres på elementopbygning af solfangerne.

1. PROBLEMSTILLING

Energiforbruget i bygninger udgør en væsentlig del af det samlede danske energiforbrug.

I forbindelse med dels renovering af eksisterende byggeri, dels opførelse af nybyggeri, kan nye løsninger inden for området medføre reduktion af energiforbruget. Dette gælder bygninger til alle formål, herunder boliger, institutioner og erhverv.

I forbindelse med skærper af bygningsreglementets energibestemmelser kan solvarme medvirke til at opfylde energimålsætningen. Det er derfor vigtigt at synliggøre disse løsninger og dermed bane vejen for at de mange sydvendte gavle bredt udbredes til udnyttelse af solvarme i såvel nybyggeriet som ved renoveringsopgaver. På længere sigt kan dette udvide de potentielle arealer for udnyttelse af solvarme.

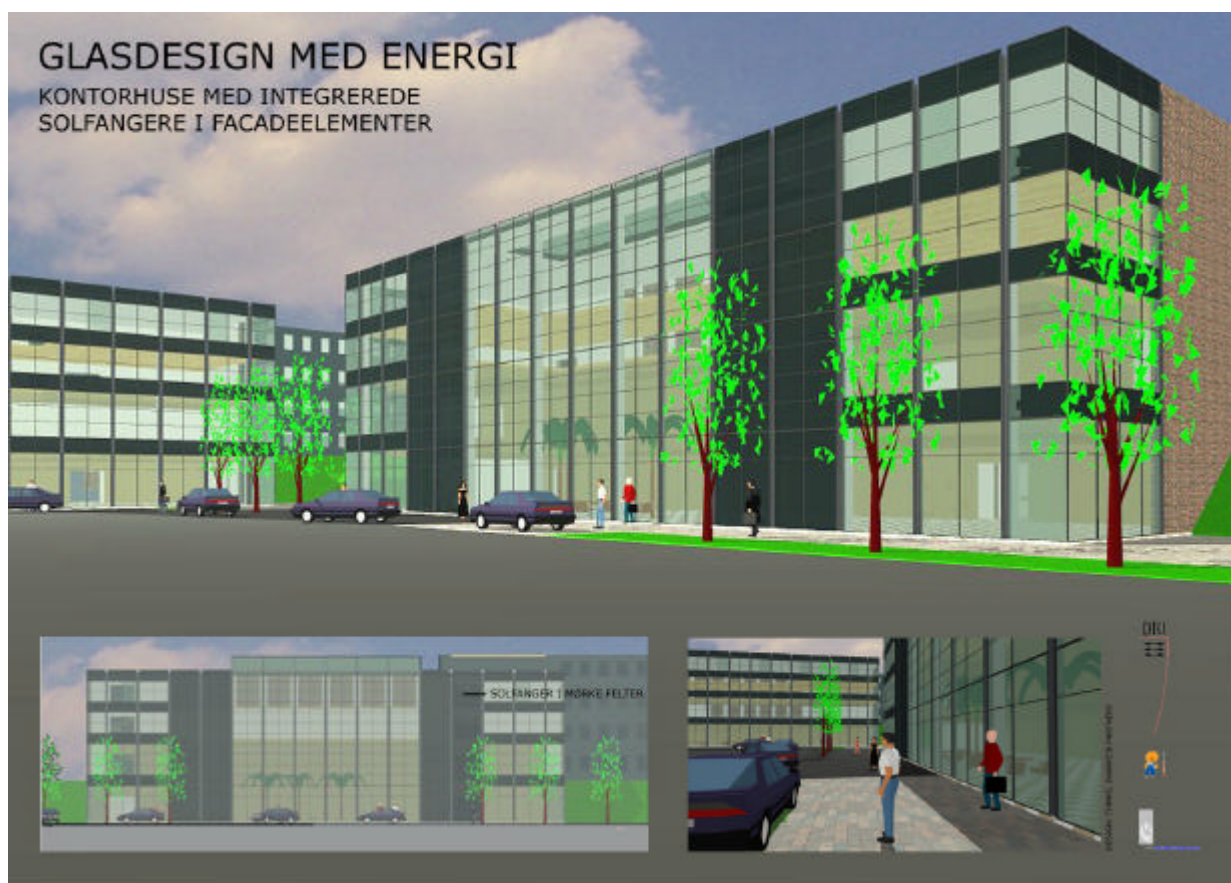
I et helhedsorienteret bygningsdesign af bygningen kan gavlsolfangeren indgå sammen med andre energikilder, således at der opnås energibesparelser og øget komfort for gavllejligheder.

Gennem demonstration af bygningsintegreret solvarme gøres det lettere for byggebranchen at inddrage solvarme, og der kan dermed opnås betydelige energibesparelser og øget komfort.

Inddragelse af solvarme ved valget af løsninger når der skal opføres nyt byggeri efter skærpet bygningsreglement, vil skabe større handlefrihed og gøre det lettere at opfylde de politiske målsætninger. Tilskud til udnyttelse af vedvarende energi er faldet bort og der skal derfor vises løsninger som økonomisk kan bære sig selv.

Der skal skabes grobund for at arkitekter og ingeniører på et tidligt tidspunkt i beslutningsfasen vil agitere for solvarme. Denne grobund kan skabes såfremt et mere industrialiseret produkt er på markedet, samtidig med at der skabes frihed for arkitekterne i forbindelse med udformningen. Det sidste kan være i form af en mere fleksibel feltopdeling af elementer og valg af dæklagsmateriale. Et tænkt eksempel på hvordan solfangere arkitektonisk kan indpasses i kontorhuse med glasfacader er vist i figur 1.

Overskudsvarmen fra elproduktion kan i fjernvarmeområder virke som en barriere for valg af solvarme, men på længere sigt vil overskudsvarmen være udnyttet fuldt ud, og enhver form for vedvarende energi vil have sin berettigelse, også i disse områder. Installation af solvarme i bebyggelser med fjernvarme skal gøres med omtanke for ikke at forringe forholdene for afkøling af fjernvarmevandet.



Figur 1: Eksempel på hvordan ikke-gennemsigtige glasfacader til udnyttelse af solvarme rent arkitektomisk kan fremstå, de mørke felter er tænkt udnyttet til solfangere. Planche præsenteret på Herningmessen 2002.

2. DET VALGTE BOLIGKOMPLEKS

Det valgte boligkompleks, Lønstrupgård, er et ud af mange bygget fra 70'erne af KBI, og som står over for gennemførelse af vedligeholdelsesarbejder.

Lønstrupgård er en etageejendom i 3 etager opført i beton. Bebyggelsen er opført i 1972/73 og indeholder 240 lejligheder. Lønstrupgård ligger tæt på Damhussøen, Damhusengen og Vanløse Idrætspark i Københavns kommune.

Bebyggelsen består af 13 blokke, og samlet er der 4 sydvendte gavle, hver med et areal på ca. 100 m². Afstand fra gavl til varmecentral er maksimalt 100 m. Demonstrationsprojektet omhandler en gavl på Hanstholmsvej og har indflydelse på 38 stigstrengene fordelt på blok 5, 6, 7 og 8.

Energileverandør til Lønstrupgård er Københavns Energi, og det opvarmede areal er 21367 m². Foruden levering af varme og varmt vand til lejlighederne, leveres der varmt vand til et tilstødende fritidscenter og plejehjem. I 1999 blev det årlige forbrug af varmt vand målt til 11888 m³, og det målte energiforbrug var 4048 MWh.

Gavlen består af sandwich-elementer bestående af en ydermur ophængt med bindere i indermuren som er bærende. Tagkonstruktionen er en åsekonstruktion hvor åsene er understøttet til betondæk. Trekanten i gavlen består af eternitplader. På figur 2 ses gavlen før renovering.

Det er sandsynligt at taget skal skiftes inden 5 – 7 år. I en del af gavllejlighederne er der registreret trækgener, revnedannelser i beton samt fugt og skimmel udsatte steder. Revner i gavlelementers fugesamling vurderes dels at være forårsaget af varierende temperaturer dels af indtrængende vand (opfugtning og udtørring). Fugt/skimmel vurderes at være forårsaget af en kombination af for høj indendørs-luftfugtighed og for lav overfladetemperatur.

En minimal udbedring vil omfatte en gennemgang af de udvendige lodrette fugesamlinger i gavle. En effektiv afhjælpning af fugtgener samt kulde og trækfølelser kan udføres ved udvendig isolering og beklædning af gavlen suppleret med forøget luftskifte i vådrum. Disse vurderinger er foretaget af boligselskabets rådgivere i 1986.



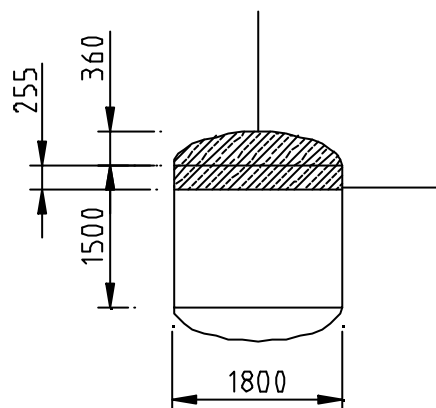
Figur 2: Gavlen på Lønstrupgård før renovering med gavlsolfanger.

3. TILSLUTNING AF SOLVARME.

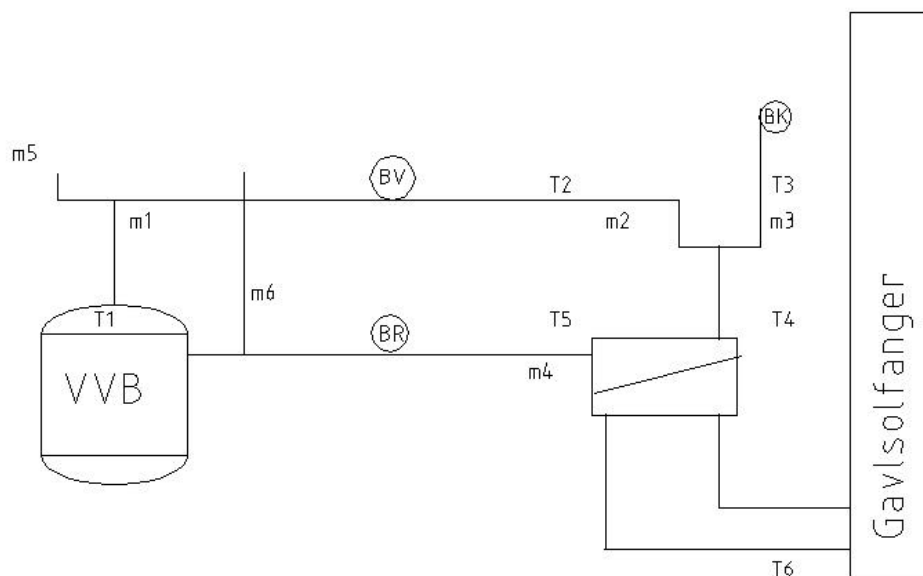
Lønstrupgårds gavlsolfanger har på en solrig dag en ydelse på ca. 30 kW ved en temperatur på 75°C. Når solfangeren tilsluttes til bygningens varmtvandssystem, skal effekten overføres, således at der ikke opstår overophedning af solfangeren. Effekten skal kunne aftages, dels ved lagring i beholder og dels ved dækning af det umiddelbare forbrug af varmt vand i bygningen og dels til dækning af varmetab i rørledninger og tank. Samlet kalder vi denne del af anlægget for aftagersystemet. En væsentlig del af projektets hensigt er at kunne eftervise energibesparelser og anlægsbesparelser, samt at vise gennemførlighed og rentabilitet. Et af de områder vi har valgt at fokusere på som anlægsbesparelse er netop at gøre tilslutningen til eksisterende anlæg så billig og enkel som mulig. Aftagersystemet for solvarmeydelsen kan udformes på flere måder, én måde er at indsætte en ekstra varmeveksler eller beholder til solvarmeforvarmning. Det kolde vand forvarmes i varmeveksler eller beholder før det føres ind i eksisterende varmtvandsbeholder. Dette aftagersystem kræver at rør føres fra solfanger til varmecentral som for Lønstrupgårds vedkommende kan betyde rørføring på op til 100 m. En anden måde at udforme aftagersystemet på er en varmeveksler anbragt lokalt i kælderen ved den sydvendte gavl. Varmeveksleren indsættes på returløbet for cirkulationsvandet og dækker cirkulationstab for det varme vand. Når solvarmen tilsluttes cirkulationsledningen gennem en varmeveksler, spares rørføring til varmecentral. Ved denne udførelse leveres solvarmen ved et højt temperaturniveau hvilket vil nedsætte dækningsgraden for solvarmen. Til gengæld kan fjernvarmen opnå større afkøling idet fjernvarmen uændret varmer vandet op fra det lave temperaturniveau. Dimensionen på cirkulationsledning er lille i forhold til den effekt vi vil transportere og begrænser den væskestrøm der kan benyttes. Tilsvarende skal flowet i solfangerkredsen være lille. Alt i alt resulterer dette i at solvarmeanlægget kommer til at køre som et lowflow-anlæg, men dette er også ideelt når målet er at levere effekten ved et højt temperaturniveau. På Lønstrupgård demonstreres i praksis tilslutning af solvarmen til cirkulationsledningen gennem en varmeveksler anbragt lokalt ved den sydvendte gavl. Denne tilslutning sparer rørføring til varmecentral og kan dermed, sammenlignet med andre løsninger for tilslutning af solvarme, udføres til en langt lavere pris. Dette skal, kombineret med de fordele der findes ved den integrerede gavlsolfanger, bringe pris/ydelses-forholdet ned og dermed gøre løsningen attraktiv når bygningsreglementets energibestemmelser skal overholdes. Foruden opvarmning af det varme brugsvands returvand opvarmes en del af det øjeblikkelige varmtvandsforbrug ved at der er tilsluttet koldt vand før veksleren. Denne finesse er ikke helt uden betydning for solvarmens dækningsgrad og dermed ydeevne. Varmetabet og varmtvandsbeholderens lagerkapacitet er ikke tilstrækkelig til at aftage den fulde effekt fra solfangeren. Lagerkapaciteten i tank er lille, dels fordi kun den øverste del af tanken udnyttes, men også fordi opvarmningen i varmtvandsbeholder er begrænset til at være fra 60°C, som fjernvarmevandet til tider varmer tanken op til, og til 65 °C, som er højeste temperatur vi kan sende ud i varmtvandsledningen. Der kræves derfor et grundforbrug også i dagtimerne i sommermånederne hvor mange er på ferie. For at undgå særlige anordninger til modvirkning af høje temperaturer som er fordyrende for anlægget, er det vigtigt at kunne påvise at der altid er et grundforbrug af varmt vand. Særlige anordninger kan være en skoldningssikring i beholderum eller etablering af bypass til varmtvandsbeholderens bund som åbner når temperaturen i tanken bliver for høj. En enkel løsning er at nedsætte setpunktet for opvarmning med fjernvarme fra f.eks. 60°C til 55°C. Sidste års målinger, foretaget af ejendommen selv, viser at forbruget for juli måned falder til 2/3 af normalforbruget for de resterende måneder. Simple stationære beregninger med tidsskridt på et minut viser at varmtvandsforbrug på 65% af det årlige gennemsnit stadig er tilstrækkeligt til at temperaturen ikke når op over 65°C for en solrig dag med 4 timers maksimal solbestråling. I beregningsgrundlaget er der indlagt en sikkerhed som ses ved at sammenholde solbestrålingen over

dagen for typiske solrige dage ud af et referenceår med de 4 timers maksimal solbestråling som indgår i beregningerne. Den virkelige solbestråling som varierer med solhøjde og indfaldsvinkel vil være mindre end den som er benyttet i de simple beregninger. På figur 5 er beregningsgrundlaget for solindstråling sammenlignet med solindstråling for nogle udvalgte dage med meget sol taget fra referenceåret DRY-Copenhagen.

Geometrien af varmtvandsbeholderen som er vist på figur 3. er bestemt ud fra beholderkatalog, opmåling på stedet og standardbeholderbunde. Volumen over stuts er ud fra tegningen bestemt til $1,2 \text{ m}^3$, det samlede beholdervolumen er 5 m^3 . Uden ændringer i beholderrum kan vi udnytte et lager i beholderen på $1,2 \text{ m}^3$, med en temperaturstigning fra 60°C til 65°C .



Figur 3: Varmtvandsbeholder i beholderrum, delen over stuts for cirkulation dækker $1,2 \text{ m}^3$.



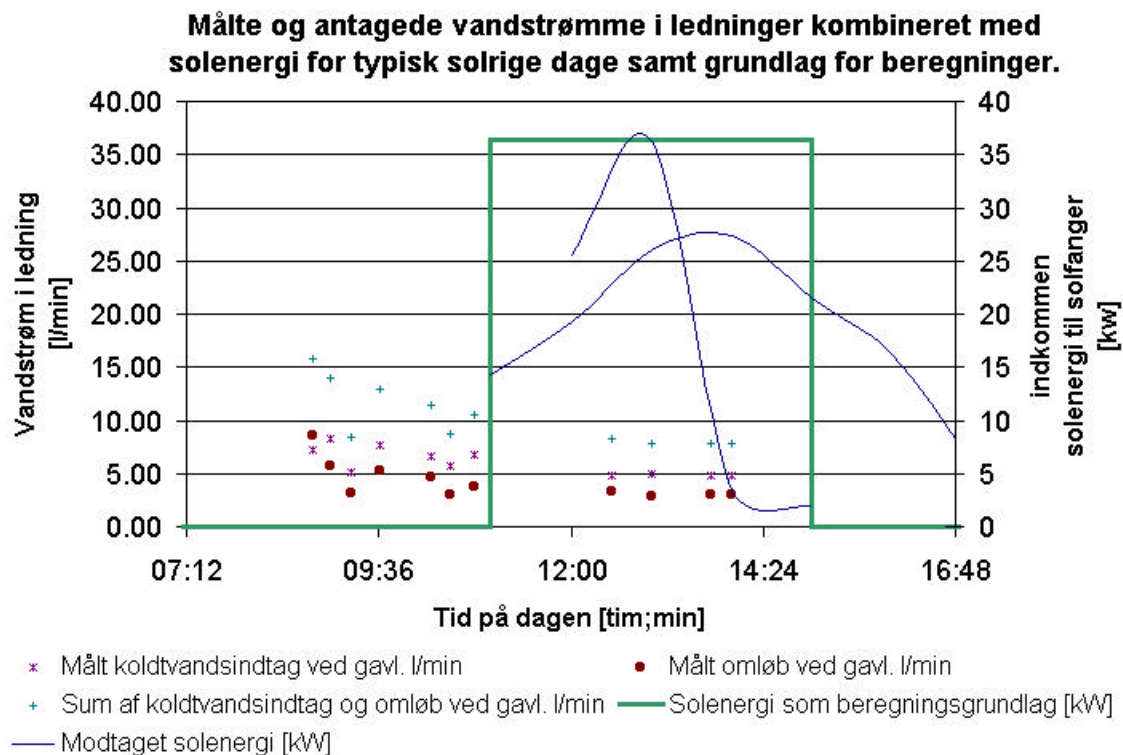
Figur 4: Systemdiagram med beholder for varmelager, veksler og solgavl. T og m henviser til temperature og flow. BV – Varmtvandsledning, BK- Tilslutning af koldt vand, BR – Cirkulationsledning.

Solvarmen tilsluttet cirkulationsledningen er vist på systemdiagrammet på figur 4. Tilslutningen er gennem en varmeveksler anbragt lokalt i kælderen ved den sydvendte gavl. De eksisterende ledninger er benævnt BV- Varmtvandsledning, BK- koldtvandledning og BR- Cirkulationsledning.

På brugsvandssiden af veksleren føres der et omløb fra BV til BR, og koldtvandsledningen tilsluttes så der alt efter forbrug tilføres koldt vand til systemet.

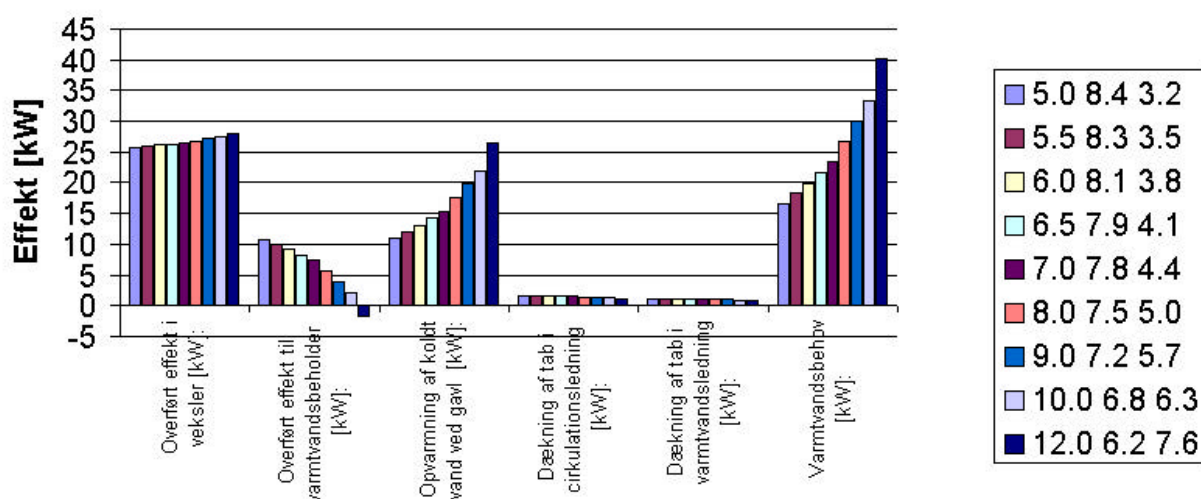
Målinger over tre dage har vist et varmtvandsforbrug på ca. 10 m³/dag, hvilket også er i overensstemmelse med det vi havde antaget forbruget til ud fra antal lejligheder og det samlede forbrug for bebyggelsen. Der er også målt på de væskestrømme som er ude ved gavlen, idet der inden tilslutning af varmeveksler er etableret en tilslutning af koldt vand samt et omløb fra BV til BR. De målte værdier er ca. 5 l/min for koldtvandsstilslutning BK og 3 l/min for omløbet (BV) midt på dagen.

I juni måned er samme væskestrømme målt til 8 l/min og 6 l/min med fuld pumpeydelse for cirkulationspumpen og nye CirCon-ventiler på stigstrengene for de berørte boligblokke. CirCon-ventilerne er indstillet til 45°C. Det er vigtigt for demonstrationen af aftagersystemet at nye CirCon-ventiler er installeret på stigstrengene, dels på grund af at den nyeste teknik som vil være den som anvendes fremover, afprøves og dels for at eliminere usikkerhed omkring tilgroede og fastlåste ventiler. CirCon-ventilerne er sponsoreret af Frese A/S. Uden koldtvandsstilslutning er flowet i omløbet 10 l/min. Flowet i koldtvandsstilgangen ved gavl midt på dagen er ca. 63% af den samlede tappemængde. For sommermåneden juli må forbruget og dermed væskeflow i koldtvandsstilslutningen forventes at falde til 2/3 af det normale, i overensstemmelse med sidste års målinger. Varmtvandsforbruget er i gennemsnit over hele døgnet ca. 10 l/min for varmtvandsbeholderen. Varmtvandsbeholderen forsyner gennem en fordelingsledning sin egen bygning og bygningen med gavlsolfangeren. De to bygninger har i alt 18 stigstreng. Desuden forsyner varmtvandsbeholderen med anden fordelingsledning blok 7 og 8 som har 20 stigstreng. De to fordelingsledninger samles ved varmecentralen før varmtvandsbeholder. Da forbruget om natten er nær ingenting, er varmtvandsforbruget i løbet af dagen til tider højere end gennemsnittet.

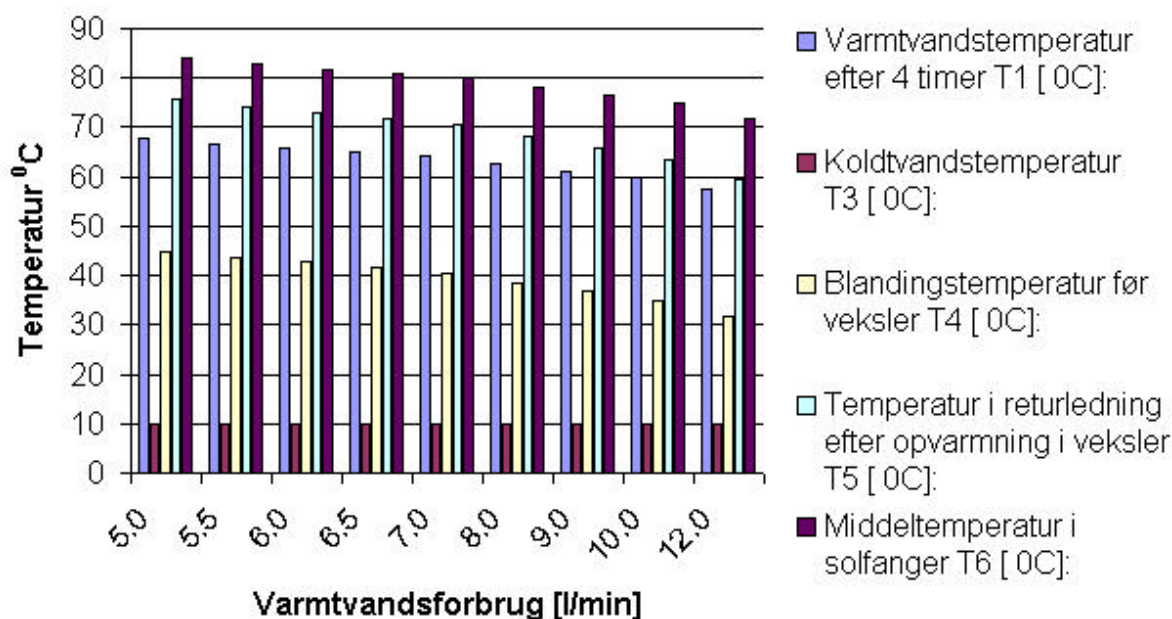


Figur 5 : Målte vandstrømme i etableret omløb og koldtvandsindtag før tilslutning af veksler samt nyttiggjort solenergi for nogle typiske solrige dage samt solenergi benyttet ved stationære beregninger af temperaturer og effekter. Det har betydning for billiggørelse af installationen at der også midt på dagen er et varmtvandsforbrug.

Ud fra en antaget tappeprofil med top morgen og eftermiddag er tappemængden midt på dagen 60% af den gennemsnitlige tappemængde. På figur 5 er indtegnet målte væskestrømme for koldtvandsindtag ved gavl og for omløbet imellem varmtvandsledning og cirkulationsledning. Der er udført beregninger af temperaturer i systemet ved fuld ydelse fra solgavlen for forskellige flow i systemet og lagerstørrelse på 1,2 m³ i vamtvandsbeholder. Lagertemperaturen er bestemt efter 4 timers fuld ydelse for solgavlen. Den absorberede ydelse fra solfangeren er 687 W/m². Gavl-solfangeren har et areal på 52,9 m². Da det samlede varmtvandsforbrug i bygningen varierer dels fra måned til måned, men også i løbet af dagen, er der i figur 6 vist hvordan solvarmen fordeler sig på aftagersystemet for forskellige varmtvandsforbrug i bygningen. Overført effekt i veksler stiger en anelse med øget vamtvandsforbrug, men skal være nogenlunde konstant for at solfangeren ikke skal blive for varm. Ved lavt varmtvandsforbrug lagres solvarmen til dels i varmtvandstanken og ved højt varmtvandsforbrug går det meste af solvarmen til opvarmning af koldt vand. Beregningerne, som er udført for fuld ydelse fra solfangeren i 4 timer, har dels til formål at vise hvordan effekten optages af aftagersystemet og dels til formål at vise at sommertemperaturen i varmtvandstanken ikke overstiger 65°C. En afbildning af temperaturer for vamtvandsforbrug imellem 5 l/min og 12 l/min er vist på figur 7. Figuren viser at temperaturen i vamtvandstanken ikke overstiger 65°C for vamtvandsforbrug ned til 6,5 l/min. Et typisk varmtvandsforbrug for juli måned er i gennemsnit over døgnet 6,5 l/min. Om natten er der næsten intet forbrug, og morgen og aften har et større forbrug end 6,5 l/min. For et varmtvandsforbrug på 6,5 l/min vil koldtvandsindtaget ved gavl være ca. 4 l/min. For lavere vamtvandsforbrug kan løsningen være at sænke setpunktet for varmtvandstemperatur i vamtvandsbeholder opvarmet ved hjælp af fjernvarme, for eksempel fra 60°C til 55°C. Sænkning af dette setpunkt kan eventuelt tidsstyres. Sænkes setpunktstemperaturen i vamtvandsbeholder til 56°C, får vi 65°C, grænsen for et vamtvandsforbrug på 5,2 l/min og et koldtvandsindtag ved gavl på 3,3 l/min. I tilfælde af en ekstrem situation uden vandforbrug, vil temperaturen i varmtvandsbeholderen stige til 76°C i løbet af de 4 timer.



Figur 6: Beregnede effekter i systemet for stigende varmtvandsforbrug. Forklaringsnøglen dækker over 3 tal svarende til a) samlet varmtvandsforbrug [l/min], b) retur-væskestrøm i cirkulationsledning [l/min] og c) koldtvandsindtag ved gavl [l/min]. Den nyttiggjorte solenergi i form af overført effekt i veksler fordeler sig på overført effekt til varmtvandsbeholder, opvarmning af koldt vand, dækning af varmetab i cirkulationsledning og dækning af tab i varmtvandsledning.



Figur 7: Beregnede temperaturer i systemet under stationære forhold i en 4 timers periode med fuld solstråling.

4. STYRINGSSTRATEGI FOR TILSLUTNING AF SOLVARME

Den nedsatte dækningsgrad fra solen som skyldes at varmen skal leveres ved et højt temperaturniveau, kan der kompenseres for ved at vi tilfører koldt vand lokalt ved varmeveksleren opblandet med det varme returvand. På denne måde sænker vi temperaturen på brugsvandssiden af veksleren så der kan overføres mere solvarme.

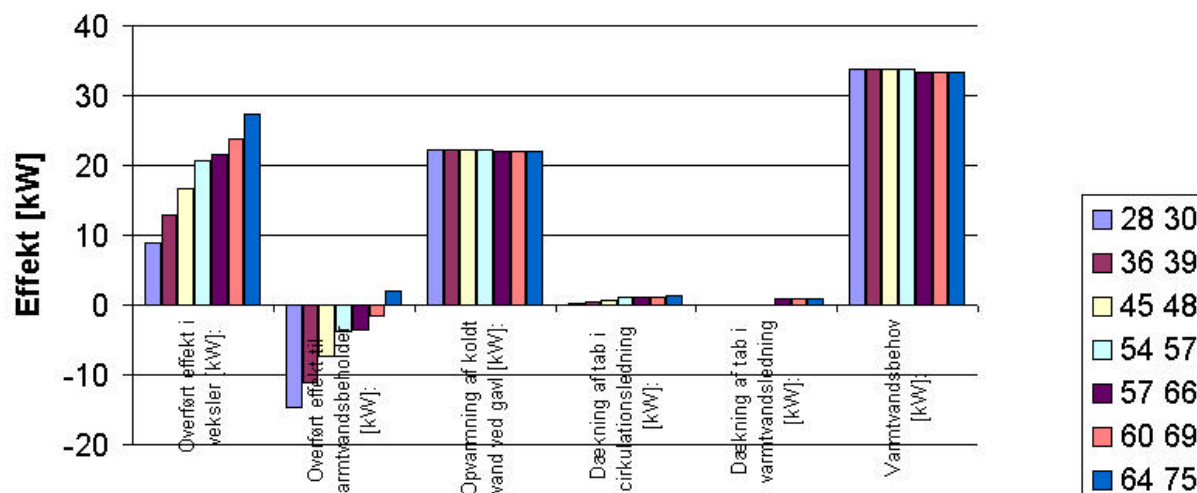
Ved lave solbestrålingsstyrker er dette ikke tilstrækkeligt, da blandingstemperaturen af vandet fra cirkulationsledningen og koldtvandstilslutningen stadig er for høj. Perioder med lave solbestrålingsstyrker kan vi udnytte ved kun at åbne for koldtvandstilslutningen.

Til styring af solfangerkredsens pumpe er anvendt en differensstyring. Pumpen starter/stopper efter temperaturforskellen mellem solfanger og en referencetemperatur. Startforskellen er det temperaturinterval solfangeren skal være varmere end referencetemperaturen for at pumpen starter. Stopforskellen er det temperaturinterval solfangeren skal være varmere end referencetemperaturen for at pumpen ikke stopper. Stopforskellen er gerne et par grader lavere end startforskellen.

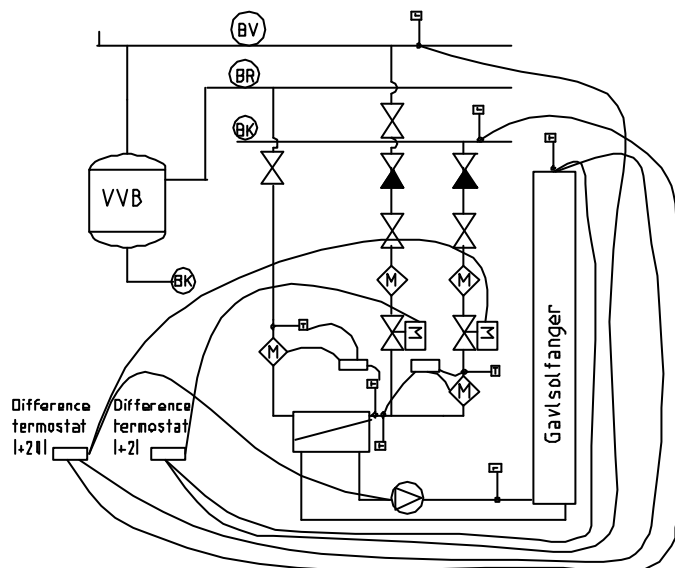
Tilsvarende styres motorventiler på brugsvandssiden med differensstyring. Omløb og koldtvandstilslutning er forsynet med motorventiler. Motorventilen for åbning af koldtvandstilslutning åbner samtidig med at pumpen starter i solfangerkredsen. Motorventilen for omløb mellem varmtvandsledning og cirkulationsledning starter først når solfangeren har nået en højere temperatur end der er i cirkulationsledning. Tilslutningen ved veksler ses af diagrammet på Figur 9. Til måling af energimængder og flow er der foruden almindelige vingehjulsvandmålere energimålere fra Clorius med tilhørende temperaturfølere.

Startforskellen for pumpe i solfangerkreds og koldtvandstilslutning med motorventil er 20°C og stopforskellen er 6°C. Startforskellen for motorventil til omløb er 4°C og stopforskellen er 2°C. Der er udført beregninger af temperaturer og effektoverførsler i systemet ved forskellige bestrålingsstyrker, dels for at se hvilke temperaturer solvarmen leveres ved og dels for at benytte resultaterne til at estimere årlig ydelse for anlægget. På figur 8 ses resultater fra disse beregninger for bestrålingsstyrkerne: 200W/m², 300W/m², 400W/m², 500 W/m², 550 W/m², 600 W/m² og 687

W/m^2 . For at oprette en ikke for kold temperatur i cirkulationsledningen er temperaturen for solvarmekreds væsentlig højere end temperaturen i koldt vandstilslutningen. Solfangertemperaturer lavere end dette vil så udelukkende udnyttes som funktion af solvæg. Returtemperaturen til varmtvandstank bliver dermed ikke væsentligt under $50^{\circ}C$. Efter opvarmning i veksler opblandes vandet med varmt vand fra de øvrige strenge. Vandtemperaturen som ved $200W/m^2$ er $28^{\circ}C$ efter veksler er for det opblandede vand ved tank $48^{\circ}C$.



Figur 8: Effektoverførsel ved forskellige bestrålingsstyrker. Søjlerne dækker bestrålingsstyrkerne, $200W/m^2$, $300W/m^2$, $400W/m^2$, $500W/m^2$, $550W/m^2$, $600W/m^2$ og $687W/m^2$. Forklaringsnøjlen dækker over to tal, første kolonne er temperatur i returledning efter opvarmning i veksler, og anden kolonne er middeltemperatur i solfanger. Første sæt af søjler er overført effekt fra solfanger i varmeveksleren, næste sæt af søjler er bidrag til varmtvandsbeholderen, tredje sæt af søjler er opvarmet koldt vand ved hjælp af solvarme, herefter kommer bidrag til tab i rørledninger og til sidst varmtvandsbehov som er det samme i alle tilfældene.



Figur 9: Tilslutning ved veksler. Koldt vandsindtaget ved gavlen gør det muligt at udnytte solvarmen også ved lavere temperaturer. Omløbet skal først åbnes ved høje temperaturer i solfangeren.

5. SOLFANGERFELTET – OPBYGNING OG ARKITEKTONISK INDPASNING

Solfangerfelter kan enten falde neutralt ind i det arkitektoniske udtryk, f.eks. hvor der benyttes glas, eller tilføje variationer i gavlen ved at fremhæve solfangerfelter i grupper eller striber og dermed få et spil i det ydre udtryk samt vise byggeriets grønne image. På Lønstrupgård har arkitekten valgt en ramme på 20 cm omkring feltet, hvor den gamle gavl ses. Mod tagkanten begrundes dette med at der senere skal skiftes tag og at der derfor ikke må lægges hindringer i vejen for denne renovering. Glasfeltet er opbygget af 4 kvadrater i et storkvadrat hvor der ikke tages meget hensyn til de eksisterende facadehøjder. Glaspartierne fortsætter op i trekantsfeltet af gavlen og båndene imellem storkvadratfelterne er 200 mm brede. Inddækninger og rammer er holdt i en koksgrå farve. På figur 10 ses gavlen som den tager sig ud efter færdiggørelse.

Bygningsdelene som indgår i gavlrenoveringen nyder gensidigt fordel af hinanden.

Solfangerelementet drager nytte af isolansen af den bagvedliggende væg, idet denne reducerer varmetabet fra solfangeren samtidig med at væggen drager nytte af solfangerens varmeafgivelse som hermed reducerer varmetabet ud af bygningen. Desuden udgør dæklaget på solfangeren en del af væggens klimaskærm, som yderligere giver en besparelse i materialer.

Aluminiumsprofiler helt til væg sammen med Rockwool produktet Dual Density, med yderligere blød isolering inderst, giver en et-trins-isolering uden luftspalte mod eksisterende væg. Den bløde isolering fordeler sig over eventuelle ujævnheder i den eksisterende gavl. Den valgte løsning giver en fleksibel feltopbygning som er udnyttet ved opdeling i kvadratiske felter og glaspartier i trekantsområdet for gavlen. Appendiks E viser et snit af gavlsolfangeren med fastgørelsesbeslag, topinddækning og sprosse. Rørføringen af hovedrør i gavlen bliver foretaget ved at føre rørene bag isoleringen i elementerne, således at elementmontøren selv kan samle rørene, ved hjælp af unioner, under montagen af gavlen. Elementerne er forankret udelukkende i formuren. På figur 11 ses montagen af elementerne til formonterede forankringsbolte. Elementerne kan tages ned enkeltvis hvis der senere skal foretages reparationer.



Figur 10: Gavlen efter renovering med integrerede solfangerelementer.



Figur 11: Billeder fra montagesituationen. Elementerne fastgøres til formonterede forankringsbolte.

Projektet har lidt under nogle uheld ved håndteringen af gavlsolfangerelementerne. Det har betydet at silikone som benyttes ved tætningslister for glassene ved rengøringen er blevet fordelt på den antirefleksbehandlede overflade og dermed har tilstoppet de poreåbninger som skulle gøre glasset ekstra velegnet til at modtage solstrålingen. Silikonen har også en negativ æstetisk effekt på glasset, idet der kan ses aftegninger fra rengøringen af glassenes indvendige side. Dette er specielt tydeligt på tidspunkter hvor der er udvendig kondens på glasset. Det næste der er sket, er at selve elementerne er blevet våde under transpoten til Lønstrupgård hvilket har betydet at vi har haft en lang udtørningsperiode inden tilslutningen til brugsvand er foretaget.

6. INDEKLIMA

De tre gavllejligheder som er berørt af den nye gavlsolfanger er ens og har dels en stue og dels et soveværelse med ydervæg mod gavl.

Det er vigtigt ved vurdering af gavlsolfangerens funktion at kunne påvise forbedringer i indeklimaet for gavllejlighederne. I første omgang gøres dette ved at gennemgå de eksisterende undersøgelser som boligselskabet ligger inde med. Efterfølgende er der gennemført en indeklimaundersøgelse af de tre lejligheder med ydervæg mod solfangergavlen. Undersøgelsen er udført ved hjælp af spørgeskemaer til beboerne. spørgeskemaet er gengivet i appendiks D.

Formålet med undersøgelsen er at vurdere indflydelsen af den forbedrede isolering og klimaskærm som gavlsolfangeren yder mod gavlen. Der er i 1986, af det rådgivende ingeniørfirma i-68, foretaget besigtigelse af fugtforhold med mere af 27 gavllejligheder. Af disse var fem lejligheder orienteret mod syd. De tre lejligheder som nu har fordel af den nye solfangergavl var ikke med i undersøgelsen fra 86.

For stue og værelse blev der i 86 konstateret følgende:

- Revner i gavlelementers lodrette fugesamlinger i 3 lejligheder.
- Revner i vandrette fugesamlinger mellem væg- og dækelementer i 4 lejligheder.
- Lidt fugt/skimmel, koncentreret ved samling gavlvæg/dækelementer i 3 lejligheder.

Følgende blev den gang nævnt af beboere/varmemester:

- Fugtige vægge omkring elementsamlinger efter regnvejr.
 - Gavlelement knager.
 - Kulde- og trækfornemmelser ved gavle.
 - Udvendige gavlelementfuger er enkelte steder fuget med fugemasse hvilket ifølge varmemester har hjulpet mod indtrængende fugt.
- Det blev i 86 vurderet at revner i gavl var forårsaget til dels af skiftende opfugtninger og udtørninger af elementerne. Fugt og skimmel vurderedes til dels at være forårsaget af en kombination af for høj indendørs luftfugtighed og lav overfladetemperatur (kuldebroer).

Ingeniørfirmaet foreslog en udvendig isolering og beklædning af gavlene som en effektiv afhjælpning af fugtgener samt kulde- og trækfornemmelser i rum der støder op mod gavl.

Svarende på spørgeskemaerne, som er sendt ud efter at gavlsolfangeren er færdig, viser generelt tilfredshed fra beboerne. Der er ingen kolde ydervægge mere, trækgener er mindsket og luftkvaliteten er blevet bedre. Der er en lejlighed med trækgener i den udendørs kolde periode (november- marts) og der er en lejlighed hvor temperaturen er lidt varierende i den varme periode. Desuden er der yttret forventninger til yderligere forbedringer, hvis vinduerne bliver skiftet ud.

Indeklimaundersøgelsen viser at gavlsolfangeren, foruden at give bygningen bedre beskyttelse mod udeklimaet, også har forbedret indeklimaet i de tilstødende lejligheder.

7. ABSORBER I GLASFACADE.

Partier med store ikke-gennemsigtige facadeglas er udbredt for eksisterende byggerier såvel som nybyggeri. Den følgende økonomivurdering tager udgangspunkt i at der allerede er taget beslutning om en ikke-gennemsigtig glasfacadeløsning.

Besparelser på varmebehovet til brugsvand og merprisen på anlægsudgifterne vurderes for en integrering af absorber i glasfacaden og tilslutning til bygningens brugsvand. Merprisen beror på fremstilling og isætning af absorber og tilslutning til det eksisterende brugsvandsanlæg.

Lønsumheden for solvarmeudnyttelsen tager derfor udgangspunkt i at investeringen til forrentning/tilbagebetaling udelukkende er absorber og tilslutning. Gavlrenovering, ekstraisolering og forbedrede indeklimaforhold skal så retfærdiggøre investeringen til den nye klimaskærm.

Der er ikke taget udgangspunkt i Lønstrupgård's faktiske finansielle muligheder. I stedet ses mere generelt på lønsomheden ved valg af solfanger i en glasfacade. Økonomivurdering sigter mod en tilbagebetalingstid på 12 år, der lægges derfor en periode på 12 år til grund for lånoptaget.

Sammenlignet med andre tiltag til energibesparelser, vil en tilbagebetalingstid på 12 år være attraktiv.

Der tages udgangspunkt i de løsninger der er valgt for demonstrationsprojektet Lønstrupgård. For at forenkle tilslutningen til det eksisterende brugsvandsanlæg skal disse løsninger acceptere en reduceret dækningsgrad for solvarmeanlægget. Forenklingen går ud på at der ikke foretages ændringer af installationerne i varmecentralen. Dette har desuden den fordel at solvarmeanlægget ikke påvirker den primære varmekilde, som er fjernvarme.

Prisen på solvarmeelementets enkeltdele og installation er fastsat i samråd med projektets erhvervsdeltagelse og er som følger:

Absorber:	400	kr./m ²
Samling på fabrik:	150	kr./m ²
Solfangerkomponent i alt:	550	kr./m ²
Tilslutning til brugsvand:	800	kr./m ²
Solfangerkomponent i alt:	1350	kr./m ²

Prisen for anlægget pr. m² solfanger er hermed ca. 1350 kr., hvilket er det halve af et traditionelt solvarmeanlæg.

Et kendt dilemma for udnyttelse af solvarme er solenergiens variation over året. Solindfaldet siges normalt at kunne udnyttes til opvarmning af brugsvand i perioden fra april til september.

Gavlsolfangeren udnytter de lave solhøjder bedre end solfangeren anbragt på tag med hældning og kan derfor strække perioden for udnyttelse af solindfald, således at den er fra marts til oktober. For at se på solfangerens ydelse ved hjælp af enkle beregninger er der taget et uddrag af referenceåret, gældende for perioden 1. juli til 31. oktober, som repræsentativt for et halvt år hvor solfangeren yder bidrag til varmtvandsopvarmning. Forårshalvåret forventes at yde tilsvarende.

For forskellige trin af solbestrålingsstyrker er ydelsen fra solfangeren bestemt ved enkle beregninger.

Fra referenceåret fås antal timer hvor solen har givet solbestrålingsstyrker svarende til de inddelte trin.

Den årlige ydelse fra solfangeren er bestemt til 289 kWh/m² for et system opbygget således at der kan nyttiggøres solbestrålingsstyrker helt ned til 200 W/m².

Anlægget som er på 52,9 m² har en anlægspris på 71414 kr. og yder bidrag til opvarmning af varmt vand ved solindfald startende ved 200 W/m². Tabel 1 viser solvarmeanlæggets ydelse ved forskellige solindfald og antal timer i perioden fra 1. juli til 31. oktober med trininddelt solindfald.

Tabel 1: Den årlige ydelse fra solfangeren er bestemt til 15281 kWh/m² og med et solfangerareal på 52,9 m² er det 289 kWh/m². Systemet er opbygget således at det kan nyttiggøre solbestrålingsstyrker helt ned til 200 W/m². Tabellen viser solvarmeanlæggets ydelse ved forskellige niveauer af solbestrålingsstyrker og antal timer i perioden fra 1. juli til 31. oktober.

	Effektrin 1	Effektrin 2	Effektrin 3	Effektrin 4	Effektrin 5	Effektrin 6	Effektrin 7	Effektrin 8	Ydelse for en halv periode	Ydelse for en hel periode	Nyttiggjort del
Effektrin [k >, W/m ²]	100<>200	200<>300	300<>400	400<>500	500<>550	550<>600	600<>665	665<			
Antal timer i interval	236	185	154	109	37	15	3	1			
Overført effekt [kW]	2	9	13	17	21	22	24	27			
Middel overført effekt i interval [kW]	6	11	15	19	22	25	26	27			
Opsammeret kWh for hvert effektrin	1344	2025	2285	2038	821	368	77	27	8984	17968	
Opsammeret kWh for hvert effektrin nyttiggjort		2025	2285	2038	821	368	77	27	7640	15281	95%

Til finansiering af solfangeranlægget er der valgt et 12 årligt annuitetslån med 4 terminer om året. Låneomkostningerne skal udbetales ved oprettelsen af lånet, derfor skal det samlede lånebeløb forøges med disse oprettelsesomkostninger. Oprettelsesomkostningerne er sat til et fast beløb på 2000 kr. plus 1% af anlægsinvesteringen (2714 kr.). Hovedstolen på lånet bliver hermed 74128 kr. Som grundlag for finansiering har vi benyttet en rentefod på 7%, en almindelig inflation på 3%, en energiprisinflation på 3% og en skatteprocent på 50%. Driftsomkostningerne er sat til en procentvis omkostning på ½%. Nuværdien for en 12-årlig periode er 21590 kr.

Set isoleret på udgifterne til absorber og installation er det rentabelt at installere absorber i glasfacaden.

Set på en 12-årlig periode er nuværdien for anlægget 408 kr./m², hvilket vil sige at anlægsprisen for en kostneutral solfanger set over en 12-årlig periode er højere end antaget her.

Tabel 2 viser årlig ydelse for kostneutrale solfangere for forskellige anlægspriser set over en 12-årlig periode.

Tabel 2: Årlig ydelse for kostneutrale solfangere for forskellige anlægspriser set over en 12-årlig periode.

Anlægsudgift for 52,9 m ² solfanger [kr.]	66125	71414	79350	92575	105800	119025
Anlægsudgift pr. m ² [kr.]	1250	1350	1500	1750	2000	2250
Årlig ydelse for kostneutral solfanger [kWh/m ²]	216	233	259	302	345	388

8. UIGENNEMSIGTIGT DÆKLAGE.

Ved opførelse af gavlsolfangere kan der, på grund af æstetik og arkitektoniske hensyn, være tale om at skulle gå på kompromis med solfangerens ydelse for at opnå et udseende som gør valget af solfanger mere attraktivt. En fuldendt integration af solfangere vil indebære stillingtagen til dæklagets udseende. Er dæklaget uigennemsigtigt, kan absorberen ikke ses. Er dæklaget gennemsigtigt, er udseendet af den bagvedliggende absorber tilsvarende vigtigt. I denne undersøgelse er der valgt specielle glastyper som tænkes anvendt som dæklage og sammenlignet med glastyper som normalt anvendes i solfangere. De specielle glastyper er fra Scanglas (Saint-Gobain). Det drejer sig om Seralit, et silkestrykt glas, hvilket er et glas der er belagt med et glaspulver som indbrændes i glasset på samme måde som emalje. Der er valgt 3 typer af Seralit, frost 22, frost 35 og frost 49. Desuden er der valgt en Seralit frost 49 på et jernfattigt glas, Diamant. Foruden Seralit er der valgt en type, Santinato, som er en speciel ætsning af overfladen udført på et stykke floatglas. Den ætsede overflade på Santinato bliver mere klar når den bliver våd hvilket kan gøre den mindre velegnet til at skjule den bagvedliggende absorber. Transmittans og reflektans er målt under BYG•DTU's kunstige sol. Glasset Seralit frost 49 på diamant har en soltransmittans på 0,75 i stedet for 0,83 for jernfattigt glas. De optiske data med en ekstinktionskoefficient på 7 m⁻¹ og et brydningsindeks på 1,67 for Seralit er udledt ud fra de målte resultater af transmittans og reflektans. De optiske data fra glassene er sat ind i en solfangermodel i programmet SOLEFF for at se på solfangerens karakteristik givet ved effektivitetsudtrykket:

$$\eta = \eta_0 + k_0 \frac{\Delta t}{G} + k_1 \frac{\Delta^2 t}{G}$$

Følgende karakteristik for solfangeren med Seralit er fundet

$$\eta_0 = 0,73, k_0 = 2,75 \text{ og } k_1 = 0,0049.$$

For det klare solfangerglas er solfangerens karakteristik følgende:

$$\eta_0 = 0,77, k_0 = 2,78 \text{ og } k_1 = 0,0048.$$

Værdier for de øvrige glas kan ses i tabel 3. Disse udtryk er sammenlignet i programmet ProSol-ydelse som regner ydelsen ud for mellemstore solvarmeanlæg. Anlægget er med 52,9 m² sydvendt gavlsolfanger med solvarmebeholder på 50 l og tilskudsvarmebeholder på 5 m³. Vandforbruget forventes at være 10 m³/døgn.

På grund af begrænsninger i ProSol-ydelse er denne anlægsudformning ikke en nøjagtig model af tilslutningen på Lønstrupgård. Lønstrupgård-anlægsudformningen vil yde mindre fordi varmtvandsbeholderen ikke er udformet optimalt til udnyttelse af solvarme. Resultaterne er dog værdifulde til vurdering af indflydelsen af ændring af for eksempel dæklagstype for solfangeren. Solvarmeanlæggets besparelse i kWh/pr. m² pr. år er fundet for glastyperne.

Kun for glasset med antirefleksionsbelægning er der taget hensyn til transmittansafhængighed af solstrålingens indfaldsvinkel. Hvis der på lignende måde skal skelnes imellem de øvrige glas, vil det kræve at der bliver foretaget målinger af vinkelafhængighed på de enkelte glastyper. Medtages denne afhængighed, kan det meget vel betyde at de specielle glas medfører yderligere forringet ydelse. Det jernfrie glas giver en besparelse på 479 kWh/m² pr. år med en dækningsgrad på 12,8% for solfangeren, og Seralit-glasset giver 457 kWh/m² pr. år med en dækningsgrad på 12,2%. Besparelse pr. år og dækningsgrad for de øvrige glas ses på figur 12. Anlægsinvesteringen for valg af solfanger i gavl er fastlagt nedenfor til 2000 kr. Gavlsolfangeren dækker et andet behov for bygherren, nemlig efterisolering og renovering af gavlen. Dette er medregnet som en sparet udgift.

Solfangerelementet	2000 kr./m ²
Tilslutning til brugsvand	800 kr./m ²
<u>Sparet gavlrenovering</u>	<u>800 kr./m²</u>
Anlægsinvestering	2000 kr./m ²

Med anlægsinvestering på 2000 kr/m², uanset valg af glastype, og en energipris for den fjernvarme som erstattes på 65 øre/kWh, kan vi over en 12 års låneperiode se på likviditeten ved anskaffelse af et 1m² solfangerelement.

Til finansiering af anlægget er der valgt et annuitetslån med 4 terminer om året.

Låneomkostningerne skal udbetales ved oprettelsen af lånet. Derfor skal det samlede lånebeløb forøges med disse oprettelsesomkostninger. Oprettelsesomkostningerne er sat til et fast beløb på 30 kr. plus 1% af anlægsinvesteringen (i alt 50 kr.). Hovedstolen på lånet bliver hermed 2.050 kr. Som grundlag for finansiering har vi benyttet en rentefod på 7%, en almindelig inflation på 3%, en energiprisinflation på 3% og en skatteprocent på 50 %. Driftsomkostningerne er sat til en procentvis omkostning på ½% samt et fast beløb på 7 kr. til dækning af pumpedrift. For solfangeren med Seralit-glas er nuværdien for en 12-årig periode 691 kr./m² og 852 kr./m² for jernfattigt glas. Denne forskel i rentabilitet skal overvejes når der tales om valg af ikke-gængse dæklagsmaterialer. En kost-neutral solfanger med en anlægspris på 2000 kr./m² skal give en besparelse på 363 kWh/m²/år set over en periode på 12 år.

Vælges en dæklagstype som Seralit frost 49 på diamant i stedet for det optisk bedre jernfattige glas, skal der regnes med en merpris på glasset på 161 kr./m² som compensation for den ringere ydelse. Denne merpris skal sammen med merprisen for silketryksbehandlingen af glasset tages med i de økonomiske overvejelser.

I forhold til AR-Solatex skal der, for Seralit, regnes med en merpris på 432 kr./m².

Solatex er et glas som har struktur på bagsiden (nubret), men som er specielt velegnet og udviklet til brug som dæklag for solfangere. I appendiks B vises transmittans-afhængigheden af indfaldsvinkel for nogle dæklag typisk anvendt til solfangere.

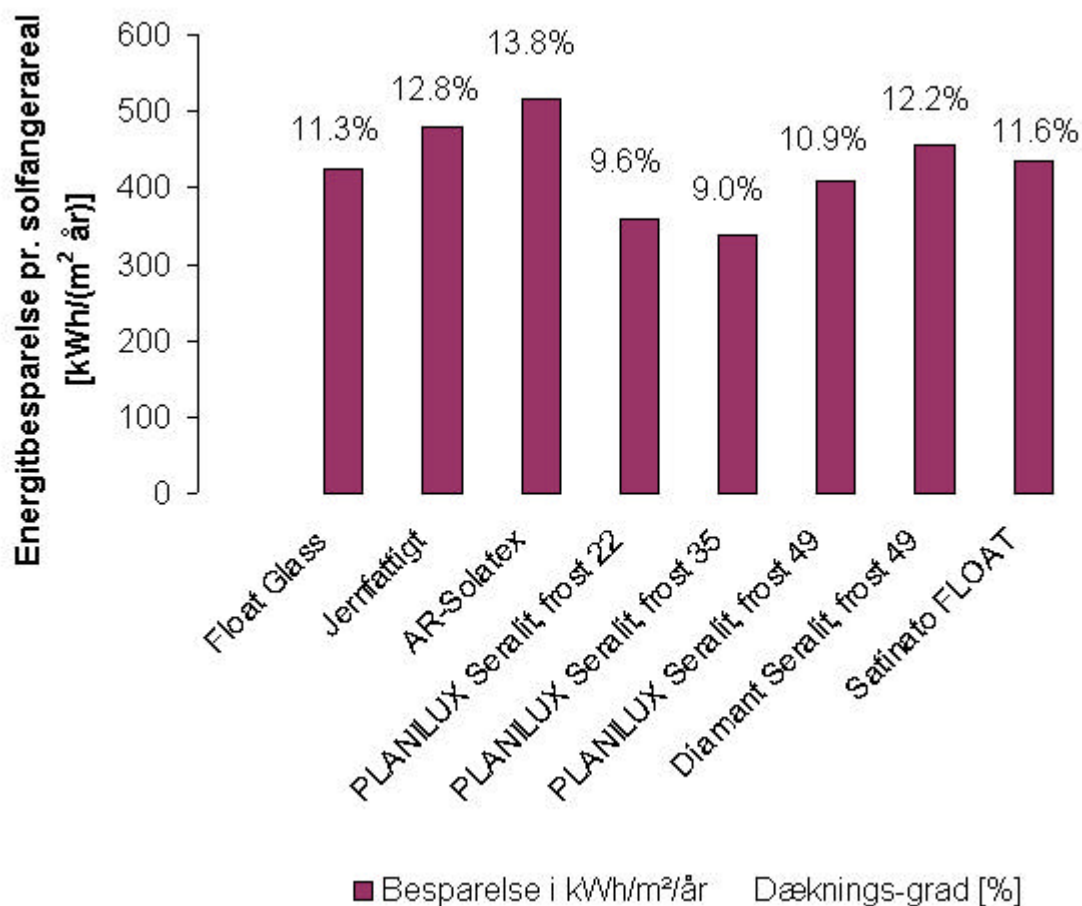
Omkostningerne ved at vælge Seralit i stedet for antirefleksbehandlede glas er i vores tilfælde med et solfangerareal på 52.9 m² 22852 kr. Solvarmeudnyttelsen er faldet fra 516 kWh/m² pr. år til 457 kWh/m² pr. år. Ydelsen ved at bruge antirefleksbehandlede glas er 13% højere end for Seralit.

Seralit type frost 22 og frost 35 må anses for ikke-rentable i henhold til den økonomiske analyse.

Det endelige valg af dæklag er en afvejning af arkitektoniske hensyn med de økonomiske ulemper som skyldes ringere ydelse og højere anlægspris.

Tabel 3: Bestemmelse af solfangerens ydelse ud fra optiske data for forskellige dæklag.

	Tykkelse	ekstinktionskoefficient	Brydningsindex	$r(0)$	$\tau(a)$	$\tau(r)$	τ
Float Glass	0.006	32	1.526	0.0434	0.825	0.847	0.699
Jernfattigt	0.006	4	1.526	0.0434	0.976	0.847	0.826
AR-Solatex	0.006	4	1.337	0.0208	0.976	0.922	0.900
PLANILUX Seralit, frost 22	0.006	63	1.65	0.0606	0.685	0.795	0.545
PLANILUX Seralit, frost 35	0.006	74	1.67	0.0623	0.641	0.790	0.506
PLANILUX Seralit, frost 49	0.006	34	1.63	0.0568	0.817	0.806	0.659
Diamant Seralit, frost 49	0.006	7	1.67	0.0623	0.958	0.790	0.757
Satinato FLOAT	0.006	19	1.64	0.0588	0.890	0.800	0.712
		η_0	k_0	k_1	Vinkel-afhængighed	Dæknings-grad [%]	Besparelse i kWh/m ² /år
Float Glass	0.006	0.67	2.64	0.0056	3.08	11.3%	425
Jernfattigt	0.006	0.77	2.78	0.0048	3.08	12.8%	479
AR-Solatex	0.006	0.81	2.79	0.0048	3.45	13.8%	516
PLANILUX Seralit, frost 22	0.006	0.55	2.44	0.0068	3.08	9.6%	359
PLANILUX Seralit, frost 35	0.006	0.51	2.33	0.0076	3.08	9.0%	337
PLANILUX Seralit, frost 49	0.006	0.64	2.62	0.0056	3.08	10.9%	408
Diamant Seralit, frost 49	0.006	0.73	2.75	0.0049	3.08	12.2%	457
Satinato FLOAT	0.006	0.69	2.69	0.0052	3.08	11.6%	435



Figur 12: Besparelse pr. år og dækningsgrad for en 52,9 m² gavlsolfanger tilhørende en bebyggelse med et varmt-vandsforbrug på ca. 10 m³ pr. døgn.

9. MÅLTE OG ESTIMEREDE YDELSER FRA GAVLSOLFANGEREN.

På brugsvandssiden af varmeveksleren er der installeret en energimåler fra Clorius som måler den energi som gavlsolfangeren tilfører brugsvandssystemet. Der er i september og oktober måned foretaget aflæsninger af energimåleren. Resultaterne kan ses i tabel 4 sammen med oplysninger fra DMI (Københavns Lufthavn) om soltimer i måleperioden.

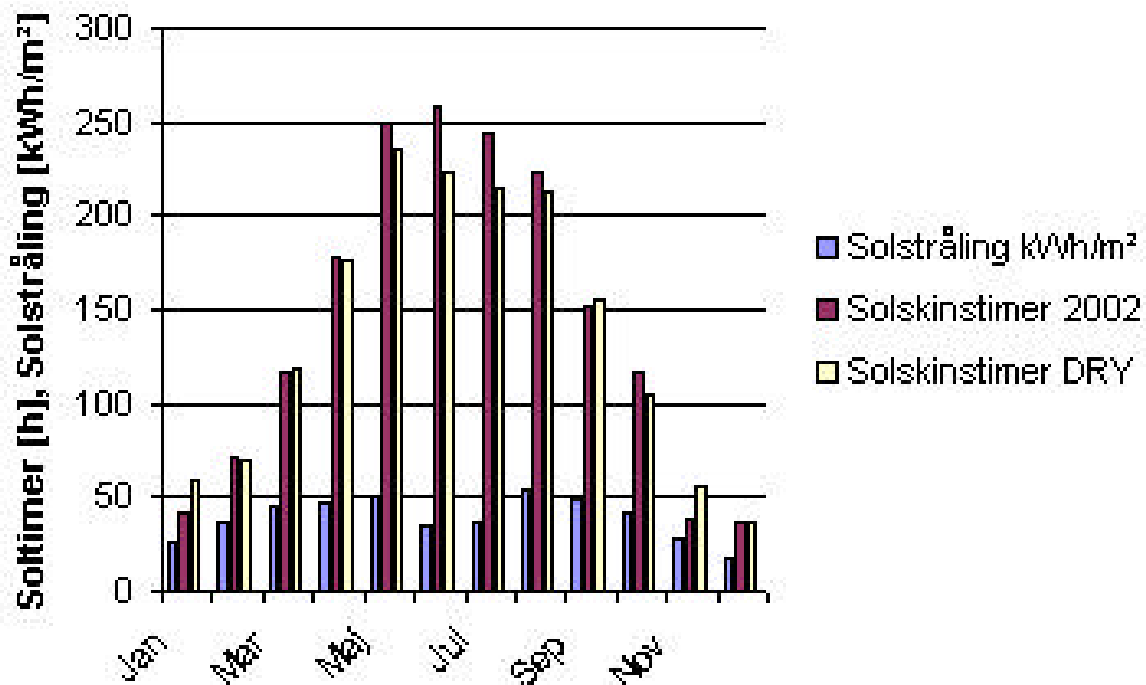
Tabel_4: Aflæsning af energimåler på Lønstrupgård og soltimer i samme periode.

Dato for registrering	Energi tilskud :	Soltimer	Energitilskud pr. soltime
	kWh	h	kWh/h
06-09-02	0	0	0
15-09-02	818	104.2	8
01-10-02	1690	187.2	11
07-10-02	2102	216.4	14
21-10-02	2516	273	7
Middelværdi for energitilskud pr. soltime er			10

Soltimer benyttes i det følgende til at estimere solfangerens ydelse på årsbasis. Ejendommens varmemester vil fremover foretage aflæsning af Clorius-energimåleren samtidig med øvrige aflæsninger af varmtvandsforbrug. Den estimerede ydelse vil derfor senere kunne verificeres med disse aflæsninger. Den solstråling som kommer ind på en flade fra en soltime er ikke ens i løbet af året. Der skal derfor foretages en vægtning svarende til variation af solstråling for de enkelte måneder. Der er udarbejdet en tabel med solstrålingsdata for en lodret flade orienteret mod syd, indeholdende indkommen solstråling pr. m² på månedsbasis. Tabellen gælder for en lokalitet med breddegrad 55,5 og længdegrad -12,5. I appendiks A findes tabellen for solstrålingsdata for fladen. Tabellen er fremkommet ved at benytte det BYG.DTU-udviklede program Soldia [Rafnsson], som ud fra vejrdatasettet "referenceåret DRY" [Møller Jensen, Lund] kan bestemme nye vejrdataset for den aktuelle flade og orientering. Vi har baseret vejrdataset på 5 min.-værdier hvilket er tilgængeligt i DRY for solstrålingsdata. Ud fra det fundne vejrdataset er der lavet en akkumulering af solstråling for hver måned for sig. Solstrålingsdata er delt op på hvad der er diffusstråling og hvad der er direkte stråling. Resultatet i vores tabel er summen af direkte og diffus stråling, men kun medtaget i de tilfælde hvor der forekommer direkte stråling. Referenceåret DRY indeholder også oplysninger om soltimer fordelt på årets måneder. (Direkte stråling > 200w/m²).

Figur 13 viser søjlediagram pr. måned af solstrålingsdata for en lodret flade mod syd og soltimer. Middelværdien for solfangerens ydelse er fundet til at være 10 kWh pr. soltime, ud fra målingerne foretaget i september og oktober måned. For 1 m² solfanger er energitilskuddet 0,188 kWh pr. soltime. Ud fra solstrålingsdata og soltimer i referenceåret får vi for september og oktober måned solstråling pr. soltime på henholdsvis 0,48 og 0,57 kWh pr. soltime. Forholdet imellem solstråling på fladen og den målte ydelse fra solfangeren pr. soltime er således fundet til:

$$\frac{0,188}{(0,48 + 0,57) / 2} = 0,359$$



Figur 13: Fordelingen af solstråling på en lodret sydvendt flade samt antallet af soltimer både for referenceåret DRY og for året 2002. Fordelingen af solstråling er anderledes end fordelingen af soltimer.

Ud fra solstråling på fladen, fordelingen af soltimer og gavlsolfangerens areal på 52,9 m², kan vi for hver måned bestemme solfangerens ydelse. I tabel 5 er resultatet angivet. Samlet for hele året fås en ydelse på 14062 kWh, hvilket pr. m² solfanger svarer til 266 kWh/m².

I afsnit 7 "Absorber i glasfacade", tabel 1 er den årlige ydelse for solfangeren bestemt ved inddeling i effektttrin for systemet. Den årlige ydelse bestemtes på denne måde til 289 kWh/m². Ved samling af solfangerelementerne blev den antirefleksbehandlede overflade på glassene beskadiget, hvilket kan have medført et tab på ydelsen på op til 8%. Dette taget i betragtning er der god overensstemmelse imellem de beregnede forventninger og den målte ydelse fra solfangeren.

Tabel 5: Solfangerens ydelse estimeret pr. måned ud fra målte energitilskud i september og oktober måned samt solstrålingsdata fra referenceåret DRY.

		Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Totalt
Solstråling på fladen	kWh/m ²	35	54	66	82	83	70	69	85	74	59	38	25	740
Estimeret ydelse for solfangeren	kwh	660	1020	1255	1551	1584	1328	1317	1608	1415	1119	726	479	14062

10. KONKLUSION

Der skal gives kyndig vejledning i håndteringen af gavlsolfangerelementerne, således at dæklag og isolering ikke tager skade inden opsætning. Gavlsolfangerelementerne på Lønstrupgård har ved fejlhåndtering fået silikone fordelt på den antirefleksbehandlede overflade hvilket har forringet ydelsen fra solfangeren. Silikonen har også en negativ æstetisk effekt på glasset, idet der kan ses aftegninger fra rengøringen af glassenes indvendige side. Dette er specielt tydeligt på tidspunkter hvor der er udvendig kondens på glasset. De nubrede glas er ikke tilstrækkelige til at hindre indsyn til absorberen. Vi konkluderer derfor at der enten skal benyttes et dæklag som skærmer mere for absorberen eller at absorberen skal gøres attraktiv at se på. Det sidste vil være at foretrække da alt andet vil give en dårligere effektivitet for systemet. Dette skal selvfølgelig opvejes med økonomiske og arkitektoniske hensyn. Rapporten behandler økonomiske konsekvenser som følge af mindre gennemsigtigt glas. I forhold til et for solfangeren optimalt glas skal der regnes med en merpris på 432 kr./m² som compensation for den ringere ydelse hvis der vælges et ikke gennemsigtigt glas. Med det udviklede koncept og komponentsystem er der et godt og fleksibelt system til opbygning af gavlsolfangere.

Efter at gavlsolfangeren er færdig, har et spørgeskema udsendt til de berørte gavlejligheder givet tilbagemeldinger om generel tilfredshed fra beboerne med hensyn til indeklimaet. Der er ingen kolde ydervægge mere, trækgener er mindsket og luftkvaliteten er blevet bedre.

Projektet demonstrerer en tilslutning til brugsvandsanlægget som er billig og som giver mindst mulig indgriben i den eksisterende varmecentral. Ses på solfangersystemet alene hvor lønsomheden tager udgangspunkt i investeringen til forrentning/tilbagebetaling af absorber og tilslutning, skal der for en 12-årig tilbagebetalingstid af solfangeren på årsbasis ydes mindst 233 kWh/m².

Beregnete ydelser for anlægget er sammenholdt med målte værdier, og for Lønstrupgård er årsydelsen anslået til at være 14 MWh/år eller 266 kWh/m²/år.

Gavlsolfangeren demonstrerer derfor et rentabelt anlæg uden statstilskud i et fjernvarmeområde med en energipris på 65 øre pr. kWh.

REFERENCER

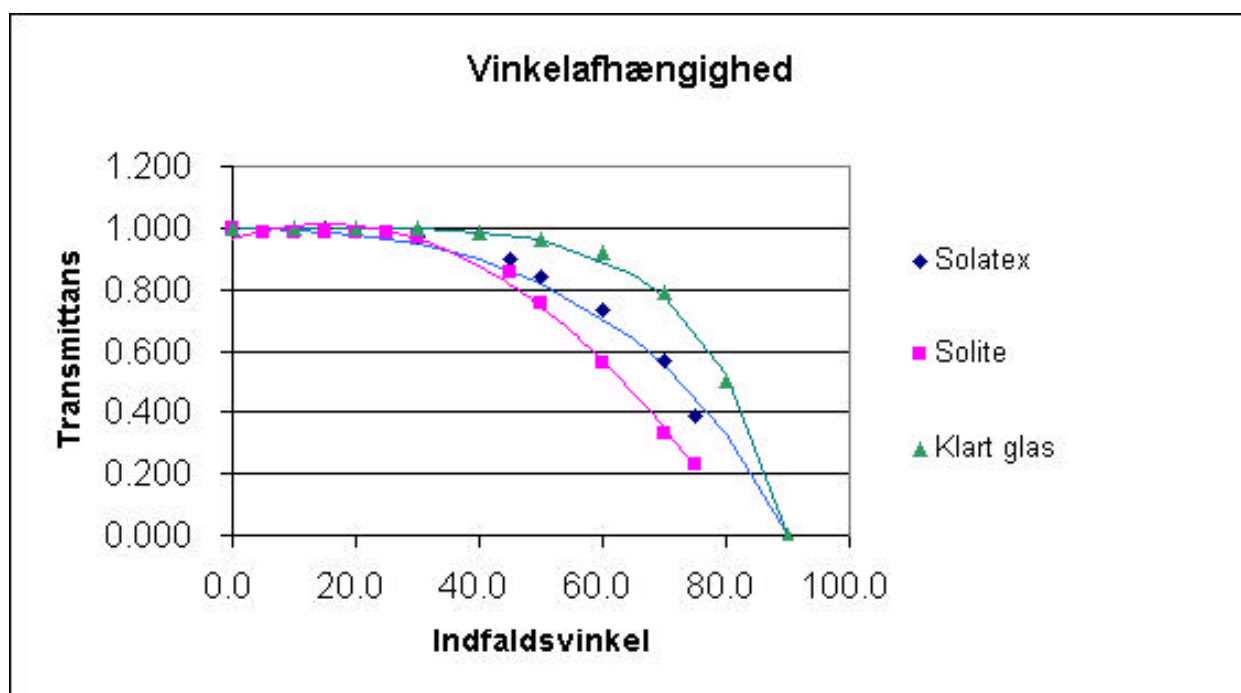
- | | |
|-----------------------|--|
| [Holck, Svendsen] | Udvikling af solfanger til integrering i bygninger. |
| [Rafnsson] | Soldia for windows 95, Rafn Yngvi Rafnsson, IBE, februar 1997. |
| [Rasmussen] | Prøvning og Beregning af Solfangeres Effektivitet, SolEff Programdokumentation, eksamensprojekt IBE, Per B. Rasmussen, August 1994. |
| [Prosol] | Prosol-ydelse, Projektering af solvarmeanlæg, ydelsesberegninger-introduktion. 2. del af integreret EDB-projekteringsværktøj til større solvarmeanlæg, BPS-Centret, Cenergia ApS, COWiconsult AS, Teknologisk Institut - Energi, oktober 1994. |
| [Møller Jensen, Lund] | DESIGN REFERENCE YEAR, DRY – Et nyt Dansk referenceår, Jerry Møller Jensen, Hans Lund, DTU LFV meddelelse nr. 281, Oktober 1995. |

APPENDIKS A : SOLSTRÅLING OG SOLTIMER.

Tabel A1: Solstråling på en lodret sydvendt flade og solskinstimer i løbet af året.

	Solstråling	Solskinstimer	Solskinstimer	DRY	Estimeret nyttiggjort energi pr. solskinstime
	kWh/m ²	2002	DRY	kWh/h/m ²	kWh/h/m ²
Jan	27	41	59	0.59	0.21
Feb	36	71	70	0.77	0.28
Mar	46	117	118	0.56	0.20
Apr	48	178	176	0.46	0.17
Maj	50	249	236	0.35	0.13
Jun	35	259	223	0.31	0.11
Jul	37	244	215	0.32	0.12
Aug	54	224	212	0.40	0.14
Sep	49	152	155	0.48	0.17
Okt	43	117	104	0.57	0.20
Nov	28	38	56	0.68	0.24
Dec	17	37	37	0.68	0.24

APPENDIKS B : TRASMITTANSENS AFHÆNGIGHED AF INDFALDSVINKEL.



Figur B1: Transmittansens afhængighed af indfaldsvinkel for 3 typisk anvendte glas til dæklag på solfangere.

APPENDIKS C : REGNEARKSIDE.

VEKSLER	Varmside					Koldside				
	Propylenglykol					Vand				
t (high in)	massefylde x	Cp	v [l/min]	mCp	t (cold in)	massefylde x	Cp	v [l/min]	mCp	
^a for ny værdi	50	50				0	0			
81	994	3.794	12	0.754	41.66	989	4.211	12.1	0.837	
	Flow pr. m2 solfanger		0.226843	[l/min]						t (cold out) 72
mCp _{min}	0.8	Counterflow								
		gæt								
Varmtvandsforbrug			6.5	[l/min]	Effektforbrug til vand		22 kW			
Blanding	VV	KV			Blanding	VV	VVB start	VVB bund	VV2	VVB
Temperatur	58	10	41.66	°C	Temperatur	70	60	60	56.15	56.97 °C
Flow	7.9	4.1	12.0514	[l/min]	Flow	12.0514	1207	2.4	8.8014	11.2 [l/min]
					Temperatur i lager efter 4 timer °C: 65.05					
UA =	4500	Effektivitet af veksler = 0.89								
NTU =	6.0						60.07			
C* =	0.90	Overført effekt/ solvarmeydelse = 1.00								
	Overført effekt	26330 W			Cirkulationstab (0.3W/m K)	0.3	1200 W		25130 W	
Beholder										
	Opvarmet af solvarme til		65 °C							
	Temperaturfald i retur		1.85 °C							
	Opvarmet af fjernvarme til		60 °C							
	Temperaturdifference til lager		5.00 °C							
	Lagerenergi									
	Volumen	Energiindhold pr. grad	temperaturdifference		Energiindhold				MCal	kWh
	m ³	kJ/°C	°C		MJ				6.1	7.1
	1.23	5122.684	5.00		25.61342					
	Koldtvandsbidrag opvarmet fra		10 °C til		60 °C som er beholdertemperatur, flow l/min					4.1028
					KW					
	Cirkulationstab				14.24					
					1.55					
	Ført til lagertank		60 °C til		70 °C som er temperatur til beholder, flow l/min					12.1
					KW					
					8.24					
	Samlet koldtvand, lager og cirkulationstab				24.03					
	Bidrag til cirkulation				°C som er veksleretemperatur, flow l/min					12.1
					KW					
					1.55					
	Varmetab varmtvand		58 °C til		60 °C som er veksleretemperatur, flow l/min					7.9
					KW					
					1.10					
SOLFANGER										
eff-0	K1	K2	Tluft	Tmiddel	Absorberet indstråling				Areal	
					W/m ²					
0.82	2.82	0.0048	20	80.874008	687.2				52.9	
					687.2					

Figur C1: Regnearkside for simple stationære beregninger af temperaturer og effektoverførsler.

APPENDIKS D: SPØRGESKEMA INDEKLIMA.

Indeklima i gavllejligheder på Lønstrupgård

- Fællesadministrationen 3B, afd. Lønstrupgård
- BYG•DTU
- H S Hansen A/S
- Glasalu A/S
- Rockwool International A/S
- BATEC A/S
- SunArc A/S
- Tegnestuen "Møllen" ApS

Udfører et demonstrationsprojekt omhandlende gavlsolfanger på Hanstholmvej. Vi vil derfor gerne gennemføre en indeklimaundersøgelse af den lejlighed I bor i.

Formålet med undersøgelsen er at vurdere indflydelsen af den forbedrede isolering og klimaskærm som gavlsolfangeren yder mod gavlen. Vi håber du føler interesse for projektet og kan finde et par minutter – gerne i dag – hvor du vil udfylde spørgeskemaet. Du bedes besvare spørgsmålene ud fra din personlige mening. Din besvarelse vil naturligvis blive behandlet fortroligt og kun anonymiserede gennemsnitstal vil blive offentliggjort.

Der er i 1986 foretaget besigtigelse af 27 gavllejligheder, hvoraf der i nogle tilfælde blev konstateret et begrænset omfang af fugtgener samt kulde og trækfornemmelser i rum som støder op mod gavl.

Baggrundsfaktorer

• Alder og køn, nævn lejlighedens beboere ved angivelse af alder og køn?
1) alder: Mand ? Kvinde ? Dreng ? Pige ?
2) alder: Mand ? Kvinde ? Dreng ? Pige ?
3) alder: Mand ? Kvinde ? Dreng ? Pige ?
4) alder: Mand ? Kvinde ? Dreng ? Pige ?
5) alder: Mand ? Kvinde ? Dreng ? Pige ?
• Hvilke timer i løbet af dagen er der nogen hjemme i lejligheden på hverdage? Marker med streg på tidslinie :
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;">Kl 00Kl 06Kl 12Kl 18Kl 24</div> <hr/>
• Hvilke timer i løbet af dagen er der nogen hjemme i lejligheden i weekenden? Marker med streg på tidslinie :
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;">Kl 00Kl 06Kl 12Kl 18Kl 24</div> <hr/>
• Hvilke perioder har lejligheden været tom, f.eks. på grund af ferie?
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;">nov.2001dec.jan.2002feb.marts.aprilmajjuni.juliaugust</div> <hr/>

Indeklima i lejligheden

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i lejligheden i den udendørs varme periode (april-august)?
(Sæt en markering (en lille lodret streg) på hver af de vandrette linier i overensstemmelse med din mening).

•	Rumtemperatur. Tilfredsstillende _____ Ikke tilfredsstillende	<input type="checkbox"/> For varmt <input type="checkbox"/> For koldt <input type="checkbox"/> For varierende
•	Luftbevægelser. Tilfredsstillende _____ Ikke tilfredsstillende	<input type="checkbox"/> Stillestående <input type="checkbox"/> Det trækker
•	Luftkvalitet. Tilfredsstillende _____ Ikke tilfredsstillende	<input type="checkbox"/> Indelukket <input type="checkbox"/> Ubehagelig lugt

Har du nogen fornemmelse af om der er sket ændringer i lejlighedens indeklima sammenlignet med sidste sommer?

Er der nogle synlige tegn på skader af de indvendige gavlvægge?

Hvis du har svaret ”ja”, I hvilke rum og hvordan ses beskadigelsen?

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i lejligheden i den udendørs kolde periode (oktober-marts)?
(Sæt en markering (en lille lodret streg) på hver af de vandrette linier i overensstemmelse med din mening).

•	Rumtemperatur. Tilfredsstillende _____ Ikke tilfredsstillende	<input type="checkbox"/> For varmt <input type="checkbox"/> For koldt <input type="checkbox"/> For varierende
•	Luftbevægelser. Tilfredsstillende _____ Ikke tilfredsstillende	<input type="checkbox"/> Stillestående <input type="checkbox"/> Det trækker
•	Luftkvalitet. Tilfredsstillende _____ Ikke tilfredsstillende	<input type="checkbox"/> Indelukket <input type="checkbox"/> Ubehagelig lugt

Har du nogen fornemmelse af om der er sket ændringer i lejlighedens indeklimaet efter at gavlsolfangeren er sat op den 12. november 2001?

Var der nogle synlige tegn på skader af de indvendige gavlvægge før den 12. november 2001?

Hvis du har svaret ”ja”, I hvilke rum og hvordan ses beskadigelsen fra før 12 november 2001?

Tak for at du tog dig tid til at besvare spørgeskemaet.

Med venlig hilsen

Ole Holck

APPENDIKS E: LODRET SNIT I GAVLSOLFANGEREN.

Lodret lameller

Lodret snit: .
Top og sprosse.

